EFEITOS DA DESCOERÊNCIA NA DINÂMICA DE ÁTOMOS INTERAGINDO COM UM CAMPO EM UMA CAVIDADE E SEU EFEITO NA COMPUTAÇÃO QUÂNTICA.

Lauro de Jesus Mascarenhas[1]; Dagoberto da Silva Freitas[2]

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: ljmascarenhas@outlook.com

2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: dfreitas@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Jaynes-Cummings, Descoerência, Estados Quânticos.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido dado uma grande atenção à computação quântica e o seu interesse tem sido intensificado em função do desenvolvimento de algoritmos que possibilitam a fatoração de números primos com velocidade superior à computação convencional. Algoritmos baseadas no controle de estados quânticos, ou simplesmente algoritmos quânticos, oferecem um ganho exponencial de eficiência em relação à algoritmos clássicos equivalentes. No entanto, a implementação experimental destes algoritmos esbarra em um grande obstáculo: a descoerência. Resultante da interação do sistema de interesse com o ambiente externo, a descoerência dificulta o controle de estados quânticos e a realização das operações que compõem os algoritmos. A descoerência leva os estados a perderem gradualmente seu caráter quântico e, consequentemente, sua utilidade em computação quântica fica comprometida. Para compreender a descoerência diversos modelos têm sido propostos. O mais geral requer a análise da interação entre o sistema e o ambiente, mas existem outros modelos baseados em métodos estocásticos. Um modelo estocástico foi proposto por Joshi em 1995, o modelo consiste em adicionar uma fase que realiza salto aleatório no coeficiente de acoplamento da interação. Nesta proposta, pretendemos aplicar modelos estocásticos para descrever a dinâmica átomo-campo em cavidades.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

Para descrever a dinâmica de átomos em cavidades foi utilizado o já conhecido modelo Jaynes-Cummings (JCM). A descoerência foi modelada a partir das flutuações na constante de acoplamento no JCM. O trabalho consistiu em fazer a modelagem matemática da dinâmica de átomos interagindo com campos monomodos aprisionados em cavidades ópticas quando existe flutuações estocásticas no fator de acoplamento.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

Do hamiltoniano de Jaynes-Cummings definido como (SCULLY, 1997)

$$\mathcal{H}_{JC} = \frac{\hbar w \sigma_z}{2} + \hbar\nu a^\dagger a + \hbar g\left(\sigma_+ a + \sigma_- a^\dagger\right). \tag{1}$$

Para o caso em que o campo é preparado inicialmente em um estado coerente $|\alpha\rangle$, a distribuição de fótons será $P_n = e^{-|\alpha|^2}\dfrac{|\alpha|^{2n}}{n!}$, a dinâmica atômica é definida como a probabilidade de encontrar o átomo no estado excitado menos a probabilidade de encontrar o átomo no estado fundamental, para este sistema teremos que

$$W(t) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n cos(2\lambda t\sqrt{n+1}) \quad (2)$$

desta forma

$$W(t) = e^{-|\alpha|^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{|\alpha|^{2n}}{n!} cos(2\lambda t\sqrt{n+1}) \quad (3)$$

A proposta de Joshi foi utilizar o método *Random Telegraph*, telegrafia aleatória, para modelar a estocasticidade do acoplamento por meio de uma fase estocástica $\phi(t)$. Está fase se relacionará com o fator de acoplamento por meio da relação

$$g(t) = g_0 e^{i\phi(t)} \quad (4)$$

g_0 é uma amplitude real e independente do tempo. Já em $\phi(t)$, as flutuações ocorrem de forma instantânea e sua distribuição é supostamente uniforme sobre o intervalo em que não há flutuação, como representado na figura1.

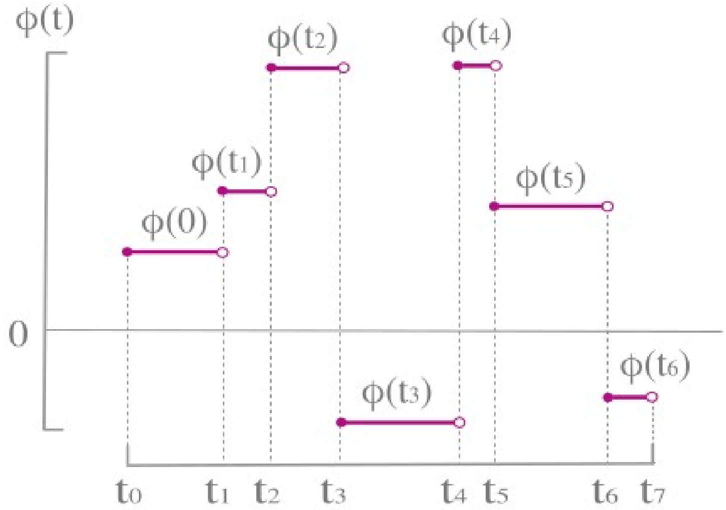

Figura 1: Representação da distribuição de probabilidades da fase do acoplamento átomo-campo (OSPINA, 2009).

A distribuição de probabilidade da fase realizar um salto em dado intervalo de tempo é definida como

$$dQ = \frac{d\tau}{\tau_0} e^{-\tau/\tau_0} \quad (5)$$

onde $\tau = t_{i+1} - t_i$ com $t_0 = 0$ e τ_0 sendo a duração média dos intervalos. Como a fase é supostamente constante, podemos assumir que

$$dq(\phi) = \frac{d\phi}{2\pi} \quad (6)$$

e considera-se apenas o caso em que as fases sobre os intervalos seguintes não estão correlacionados.

A dinâmica do sistema é dado por uma transformação unitária $U(\phi, t+1, t)$, tal que

$$\varrho(t+1) = U(\phi, t+1, t)\varrho(t)U^{\dagger}(\phi, t+1, t) \quad (7)$$

sabendo que no intervalo $[0, t]$ ocorrem k saltos na fase. Sabendo que no intervalo $[0, t_1)$ a fase vale ϕ_0, em $[t_1, t_2)$ a fase vale ϕ_1e assim por diante.

Desta forma, supondo que a fase sofra uma quantidade aleatória de saltos, o valor esperado do operador densidade será

$$\bar{\varrho}(t)=\sum_{k=0}^{\infty}\int_{\Gamma}\int_{\Lambda}dP(t_1,\cdots,t_k,\phi_0,\cdots,\phi_k)\varrho(t;t_1,\cdots,\phi_0,\cdots,\phi_k) \tag{8}$$

onde $\Gamma=0<t_1<\cdots<t_k<t$ e $\Lambda=0\leq\phi_i\leq 2\pi$, desta forma, podemos escrever que

$$\bar{\varrho}(t)=e^{-t/\tau_0}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{1}{\tau_0^k}\int_{\Gamma}\cdots\int\prod_{i=0}^{k}dt_i\int_{\Lambda}\cdots\int\prod_{i=1}^{k}dq(\phi_i)\varrho(t;t_1,\cdots,t_k,\phi_0,\cdots,\phi_k) \tag{9}$$

a evolução temporal do sistema é descrita pelo operador unitário associado ao Hamiltoniano de interação escrito na base atômica e representado matricialmente como

$$U(\phi;\tau,0)=\begin{bmatrix} cos(\theta_n t & -ie^{-i\phi}sen(\theta_n t)\\ -ie^{i\phi}sen(\theta_n t) & cos(\theta_n t)\end{bmatrix} \tag{10}$$

onde $\theta_n=g_0\sqrt{n+1}$. Para conhecer a dinâmica do sistema, que é um sistema de dois níveis, basta conhecer os elementos $\bar{\varrho}(t)_{11}$ e $\bar{\varrho}(t)_{22}$. Desta forma a inversão de população é dada como

$$\overline{W_n(t)}=e^{-|\alpha|^2-\frac{t}{2\tau_0}}\sum_{n}\frac{|\alpha|^{2n}}{n!}\left[cos(\Omega_n t)+\frac{sen(\Omega_n t)}{2\tau_0\Omega_n}\right] \tag{11}$$

tal que

$$\Omega_n=2g_0\sqrt{n+1-\frac{1}{(4\tau_0 g_0)^2}} \tag{12}$$

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

O modelo Jaynes-Cummings (JCM) utilizado nesse trabalho descreve a dinâmica de um átomo interagindo com um campo quantizado em uma cavidade. Esse modelo enfatiza aspectos quânticos na dinâmica do sistema átomo-campo. No entanto, na dinâmica é observado um efeito de descoerência, que não é possível explicar diretamente com o JCM. Para explicar essa descoerência alguns modelos são utilizados, dentre eles modelos estocásticos. Nesse trabalho, utilizamos o modelo sugerido por Joshi e descrito no trabalho de Ospina. Fizemos uma revisão do trabalho de Ospina reproduzindo os resultado obtidos com o objetivo de compreender a aplicação de métodos estocásticos na descrição de sistemas quânticos.

REFERÊNCIAS

FREITAS, Dagoberto da Silva et al. Dinâmica de sistemas quânticos: átomos em cavidades e íons aprisionados. 2002.

OSPINA, Elizabeth Agudelo. Processos Estocásticos na Interação da Luz com a Materia. Dissertação. UFMG, 2009.

JOSHI, Amitabh. Effects of phase fluctuations in the atom-field coupling coefficient of the Jaynes-Cummings model. Journal of modern optics, v. 42, n. 12, p. 2561-2569, 1995.

SCULLY, Marlan O., ZUBAIRY, M. Suhail. Quantum Optics. Cambridge Universit Press. 1997.